IEEE SENSORS JOURNAL, VOL. 13, NO. 6, JUNE 2013

بهینه کردن پیچیدگی تشکیل خوشه در MANETs با استفاده از تکنولوژی SAT/ILP

Syed Zohaib Hussain Zahidi, Fadi Aloul, Member, IEEE, Assim Sagahyroon, and Wassim El-Hajj

چکیده:

در دهه‌های اخیر کارایی برنامه نویسی خطی عددی ((Programming Integer Linear)) (ILP) و ارضا کننده عددی منطقی ((Boolean Satisfiability)))(SAT) بهبود یافته است. این بهبودها باعث ترغیب کاربرد تکنولوژی SAT و ILP برای مدل کردن مسائل پیچیده مهندسی شده است. یکی از این مسائل، مسئله خوشه‌بندی در شبکه بدون زیرساخت متحرک (MANETs) است. مسئله خوشه‌بندی در MANETs شامل انتخاب گره با بیشترین ثبات برای سرخوشه شدن در توپولوژی MANETs و اطمینان از برقراری ارتباط منظم با سرخوشه است تا طول عمر شبکه حداکثر شود. در این مقاله، پیشنهاد شده فرمول ILP بهبود یافته را برای مسئله خوشه بندی گسترش بدهیم. بعلاوه، پیشرفت‌های متنوعی با گسترش بهبود فرمول بندی، شامل ثبات ارتباط بین خوشه‌ای، اتصالات چند گامی و تحمیل محدودیت پوششی بوجود امده است. بهبود و افزایش شکل‌دهی بوسیله ابزار طراحی ایجاد مجازی توپولوژی شبکه و خوشه‌ی آنها با استفاده از هنر کلی حل کننده های ILP عمومی و SAT است. این ابزار، برای استفاده از فرمول بندی (شکل دهی) و بهبود طول عمر واقعی در محیط عملی ارزیابی، مناسب است. مشاهده شد که ILP عمومی، CPLEX و SCIP میتوان توپولوژی شبکه‌های بزرگ را به پایه ۰-۱ منطقی حل کننده ILP منتقل (handle) کند و BSOLO مقیاس کوچکی از شبکه را منتقل (handling) می‌کند. همچنین بهبود شکل‌دهی اجازه ایجاد راه‌حل پیچیدگی شبکه و مناسب برای شبکه‌های کوچک مقیاس، در زمان ایجاد راه حل مرتبط بدون مشاهده محدودکننده در محیط تمرینی، مشاهده شد

کلمات کلیدی:

۱. مقدمه:

در دهه اخیر، حل کننده‌های برنامه نویسی خطی عددی (ILP) و ارضا کننده عددی منطقی (SAT) در معرفی الگوریتم‌های هوشمند جدید، بخاطر امکان حل طیف بسیاری از مسائل مهندسی دارای چالش و پیچیده بهبود عمده‌ای بخشیدند. در صورتیکه ILP-عمومی برای حل کردن از مدل حل کننده ILP مثل مسئله طول عمر بهینه بکار برده شود نسبتا شبیه استفاده از حل کننده SAT است. یکی از این مسائل، مسئله خوشه‌بندی در شبکه‌های متحرک بدون زیرساخت (MANETs) است.

MANETs کاربردهای وسیعی مثل ارتباطات در میدان جنگ، اجرای قانون و بازیابی بعد از فاجعه دارد. خوشه‌بندی در MANETs بطور سنتی با هدف حل موضوع مقیاس پذیری MANETs مسطح و افزایش طول عمر شبکه همراه بوده است. خوشه‌بندی درگیر ایجاد شبکه سلسله مراتبی، جایی که شبکه به خوشه‌ها تقسیم می‌شود، بهمراه انتخاب گره مطمئن برای هر خوشه به عنوان سرخوشه، است. در این پردازش، انتخاب گره‌هایی که بهترین موقعیت را دارند برای سرخوشه شدن و گره‌هایی که باید منظم به سرخوشه‌ای که میشناسند متصل بشوند، از مسائل مهم خوشه‌بندی است. مسئله خوشه‌بندی می‌تواند بوسیله ILP به مسئله‌ای بهینه مدل شود.

این نکته اهمیت دارد که فرمول ILP حدس زده شده و راه حل ارائه شده برای مسئله خوشه‌بندی در سناریوی زمان واقعی بستگی ندارد. بهرحال کاری که شامل ۴ مرحله کلیدی زیر باشد مفید است: ۱) فرمول‌بندی بسیاری از کاربردهای متنوع مسئله خوشه‌بندی در MANETs، صحبت کردن درباره محدودیت‌های واقعی حسابرسی(account)، ارائه پایه ریاضی محکم و قوی برای مسئله خوشه‌بندی؛ ۲) ارائه محیط کاری بهینه تا به بقیه محققین اجازه داده شود تا حدس هوشمندانه هیوریستیکی و متا-هیوریستیکی بزنند و نتایج خودشان را با راه بهینه‌ای که ما فراهم آورده‌ایم مقایسه کنند؛ ۳) معرفی یک مقایسه وسیع و جامع از ارزیابی کارآیی وضعیت-هنر حل کننده ILP (که به پایه ۰-۱ SAT-منطقی مربوط شده) برای هدایت کردن فرمول‌بندی ILP پیشنهادی و حدس زدن کاری که تحت این شرایط باشد؛ و ۴) طراحی و گسترش محیط ملموس می‌باشد تا اجازه ایجاد توپولوژی سفارشی، یکپارچه کردن حل کننده‌های ILP-عمومی و ILP-براساس SATمنطقی، و توانایی مشاهده راه‌حل مجازی ارائه شده برای فرمولاسیون ILP برای توپولوژی شبکه، را بدهد.

این مقاله به این صورت سازماندهی شده است. در بخش ۲ اطلاعات کلی از ILP و SAT و کاربرد آنها ارائه شده است. همچنین مقدمه‌ای از MANETs و تعریف مسئله خوشه‌بندی آن است. در بخش ۳ کارهای موجود که از فرمولاسیون ILP برای مدل کردن مسئله خوشه‌بندی استفاده کرده‌اند را پوشش داده‌است. بخش ۴ فرمولاسیون ILP پیشنهادی برای مسئله خوشه‌بندی در MANETs را توضیح داده و جزئیات افزایش (بهبود) طرح پیشنهادی شامل برقراری امکان ارتباطات بین خوشه‌ای،

www.nn4e.com - گروه نامیرا

ارتباطات چندگامی و محدودیت پوششی است. در بخش ۵ آزمایشات انجام شده و نتایج متناظر آن و نتیجه گیری ارائه شده است. بخش ۵ در این مقاله نیز شامل ارائه کارهای آینده است.

۲. پس زمینه

A. برنامه نویسی خطی عددی و ارضا کننده منطقی

برنامه نویسی خطی عددی (ILP) شامل حداکثر رساندن یا به حداقل رساندن یک تابع با توجه به محدودیت‌های خاص در آن تابع مطلوب و محدودیت‌های خطی هستند و متغیرهای استفاده شده تنها می‌تواند مقادیر صحیح را بگیرد{۲}. مواردی که مقادیر صحیح محدود به (۱-۰) هستند را برنامه نویسی خطی باینری می‌گویند. در ارضا کننده منطقی(SAT) محدودیت‌های بین متغیرها با استفاده از (سوال) چه(کدام- what) را منطق گزاره‌ای می‌نامند. منطق گزاره شامل استفاده از عملیات یا (OR) ، و (AND) ، نه(NOT) برای ساخت فرمول-محاسبه(Products-of-Sums) و یا رابط فرم نرمال(CNF) است. متغیرها فقط می‌توانند مقادیر دودویی (۱-۰) را بگیرند.

با توجه به محدودیت‌های بیان شده در CNF، هدف شناسایی یک انتساب متغیر است که تمام محدودیت‌ها در مسئله را برآورده کند و یا ثابت کند که چنین انتسابی وجود ندارد. در یک فرمول گزاره‌ای، nمتغیر داده می‌شود درحالی که 2^n متغییر مختلف وجود دارد. به منظور *حل* و یا *راضی کردن* فرمول، SAT را از طریق فضای جستجو بروید و تعیین کنید که آیا یک متغییر رضایت بخش برای انتساب وجود دارد یا خیر. فن‌آوری تصمیم‌گیری هیوریستیکی پیشرفته و تکنیک‌های پیشرفته تشخیص درگیری هوشمند را می‌توان برای جلوگیری از جستجو کل درخت 2^n تخصیص داده شده، مورد استفاده قرار داد.

در حالی که حل کننده SAT به طور سنتی برای حل مسئله تصمیم‌گیری استفاده شده است، اخیراً حل‌کننده SAT برای محدودیت‌های شبه بولی (PB) گسترش داده شده است{۳}{۴} که نامساوی ساده هستند همانند معادله ILP که با محدودیت ۰-۱ هست.

محدودیت‌های شبه بولی (PB) می‌توانند با تعدادی از محدودیت‌های نمایی CNFجایگزین شوند. یکی دیگر از مزیت کلیدی محدودیتهای PB توانایی بیان مسائل بهینه سازی که به طور سنتی برای مشکلات ILP به کار گرفته می‌شوند، است. مطالعات نشان داده‌اند که حل کننده ILP براساس ۰-۱ SAT می‌تواند با حل‌کننده ILP عمومی مبتنی بر بهترین دردسترس، برای حل مسئله ILP ، ۰-۱ ، ناشی از برنامه‌های کاربردی خاص، رقابت کند{۳}{۴}. پیشرفت‌های اخیر در حل‌کننده‌های SAT بعلاوه افزایش فزاینده مقرون به صرفه بودن قدرت محاسباتی بالا، باعث شده است که مشکلات بزرگتر در برنامه‌های کاربردی در حوزه‌های مختلف حل شوند. این کاربردها شامل بهینه سازی مصرف انرژی {۵}، FPGA {۶}، نفوذ به شبکه{۷}، کنترل دسترسی {۸}، رمزنگاری{۹}، نرم افزار نقشه برداری {۱۰}، ژنتیک {۱۱} و زمانبندی{۱۲} است.

B. شبکه بدون زیرساخت متحرک و مسئله خوشه‌بندی

MANETها، شبکه‌های بی‌سیم، خود سازمانده متشکل از گره‌های متحرک با محدودیت عمومی عرضه/ذخیره انرژی هستند. این گره‌ها برای مثال می‌توانند لبتاپ، پایانه‌های تلفن همراه و یا دستگاه‌های دیگرکه بطور کلی توسط انسان‌ها استفاده می‌شود، باشند{۱۳}. MANETها برای برقراری ارتباطی پایدار، مقیاس پذیر، توپولوژی انعطاف پذیربا چالش‌های متعددی مواجه هستند. در طول این سالها تحقیقات زیادی شده است که MANETها را قادر بسازند تا در وضعیت بهینه عمل کنند، به عنوان مثال، به حداقل رساندن مصرف انرژی و اساساً تلاش برای رسیدن به حداکثر طول عمر شبکه از طریق بهینه سازی شکل‌گیری خوشه، مسیریابی و ارتباطی انجام شده است. در ابتدا توپولوژی شبکه MANET بصورت تخت و یا بدون سلسله مراتبی بود که در آن تمام گره‌ها نقش یکسانی داشتند. از طریق آزمایش و شبیه سازی سناریوهای مختلف نشان داده شد که زمانی که تعداد گره‌ها در شبکه تخت افزایش می‌یابد، توان به شدت کاهش می‌یابد {۱۴}.

علاوه بر این، عواملی مانند شکست مکرر مسیر، تغییر توپولوژی غیر قابل پیش‌بینی و سربار مسیریابی باعث مشکل شدن برای توپولوژی مسطح مقیاس پذیر می‌شود{۱۵}. مفهوم خوشه‌بندی برای غلبه بر محدودیت مقیاس پذیری در یک شبکه تخت معرفی شده است. خوشه‌بندی شامل تقسیم شبکه به خوشه‌ها با گره‌های خاص در هر خوشه انتخاب شده برای سرخوشه شدن است. سرخوشه مسئولیت مدیریت ارتباطات و مسیریابی برای خوشه‌ای خاص را دارد. در نتیجه انتخاب سرخوشه بسیار مهم است{۱۶}. از طریق این پیکربندی سلسله مراتبی شبکه، خوشه‌بندی دارای مزیت کاهش پیچیدگی محاسباتی شبکه‌های زیربنایی و کاهش اثرات تحرک بوسیله ساخت یک توپولوژی شبکه متحرک که به ظاهر نسبتاً ثابت به نظر برسد. اهمیت ویژه آن محدودیت‌های مربوط به اتصال به شبکه و حفظ انرژی آن است{۱۷}. خوشه‌بندی همچنین دارای مزیت کاهش سربار ذخیره سازی اطلاعات برای گره به طور منظم است و گره نیاز به آگاه بودن از تغییر

www.nn4e.com

محلی(تغییر در خوشه) است، و نیازی به تغییرات سراسری(کلی) نیست (تغییراتی که در خوشه‌های دیگر اتفاق می‌افتد){۱۸}.
علاوه بر دستیابی به بهبود مقیاس پذیری بیشتر از شبکه‌های تخت، خوشه‌بندی را قادر می‌سازد از پهنای باند ارتباطی بین خوشه‌ای به وسیله محدود کردن سرخوشه‌ها، حفاظت کند. همچنین ممکن است برای سرخوشه‌ها، استراتژی‌های بهینه سازی محلی پیاده سازی شود تا گره را در یک خوشه برای رسیدن به طول عمر مطلوب، قادر سازد. در برنامه‌های کاربردی مانند شبکه‌های حسگر بی‌سیم () که در آن ممکن است حسگرها مناطق تحت پوششان با هم تداخل داشته باشند، سرخوشه‌ها می‌توانند گره‌ی خاصی در خوشه خود را می‌تواند به حالت فعال و یا حالت خواب ببرند درنتیجه طول عمر شبکه بهبود یافته و داده‌های جمع اوری شده تکراری(تقلیدی) کاهش یابند{۱۹}.
در {۱۸} نویسندگان یک برشی از روش‌های مختلف دسته‌بندی و تکنیک خوشه‌بندی را ارائه داده‌اند. از جمله:

۱) مجموعه تسلط(DS) براساس گره: تاکید بر کاهش پیچیدگی مسیریابی.
۲) خوشه‌بندی با تعمیر و نگهداری کم: تاکید بر به حداقل رساندن هزینه تعمیر و نگهداری خوشه.
۳) خوشه‌بندی با آگاهی از تحرک: تاکید بر ترکیب رفتار حرکتی گره‌ها در پردازش خوشه‌بندی به منظور افزایش ثبات خوشه و حداکثر کردن زمان قبل از نیاز به خوشه‌بندی دوباره.
۴) صرفه جویی در انرژی خوشه: تاکید بر دستیابی به حداکثر طول عمر شبکه.
۵) خوشه‌بندی تعادل بار: تاکید بر توزیع برابر بار بین سرخوشه‌ها.
۶) خوشه‌بندی مبتنی بر ترکیب معیارها: تاکید بر بهینه سازی طول عمر شبکه بوسیله ترکیب معیارهای متعددی که تحت تاثیر انتخاب سرخوشه قرار دارد مانند انرژی اولیه، انرژی باقی مانده، ترافیک و تحرک.

بسته به ماهیت کاربرد، الگوریتم خوشه‌بندی همچنین ممکن است به عوامل دیگری که نیاز به بهینه سازی دارند نیز تمرکز کنند{۱۹}.

۱) مقدار حداقلی خوشه: تاکید بر به حداقل رساندن تعداد خوشه‌ها با توجه به اینکه در شبکه‌های ناهمگن که گره‌های قدرتمندی وجود دارد که مناسب سرخوشه شدن هستند اما این گره‌ها گران هستند و باید مقادیر محدودی از آنها مستقر شوند. تمرکز بر به حداقل رساندن تعداد خوشه‌ها (یا به حداقل رساندن هزینه) و به حداکثر رساندن طول عمر شبکه است
۲) افزایش اتصال: تاکید بر تضمین این که تمام گره‌های شبکه دارای مسیرهای موجود، از طریق اتصال سرخوشه‌های خود به جمع کننده ((چاهک))(sink) و یا ایستگاه پایه هستند. این ویژگی در شبکه‌های حسگر بی‌سیم حساس که در آن هر گره باید یک مسیر کارآمد به یک جمع کننده (sink) از پیش تعیین شده، داشته باشند.

از آنجا که سرخوشه عمدتاً مسئول مسیریابی، مدیریت خوشه خود، رله(هدایت) کردن پیام از/به خوشه‌های دیگر است انرژی باقی مانده خود را سریعتر از بقیه گره‌ها از دست می‌دهد. از این رو، انتخاب سرخوشه دیگر برای مدیریت خوشه یا گاهی اوقات خوشه‌بندی دوباره کل شبکه یک عملیات لازم است. یکی دیگر از دلایل خوشه‌بندی دوباره ممکن است بخاطر تحرک گره‌ها (یا سرخوشه‌ها) باشد که در آن برخی گره‌ها ممکن است به خارج از محدوده یک سرخوشه برود و به محدوده دیگری وارد شود و در نتیجه توپولوژی شبکه باید بر این اساس تنظیم شود. در نتیجه، خوشه‌بندی دوباره به یک فاکتور مهم در مسئله خوشه‌بندی بهینه با هدف رسیدن به تحمل خطا، تبدیل شده است. اما خوشه‌بندی دوباره به منابع شدید و اختلال شبکه نیاز دارد. بنابراین، در موردی که، پیکربندی مقاوم در برابر خطا با کارآیی بالا، نیاز است، بهتر است که شامل انتخاب سرخوشه‌های پشتیبان در طول فرایند خوشه‌بندی باشد.

نویسندگان در {۱۹} لیست جامعی از متغییرها که باید در زمان خوشه‌بندی شبکه فراهم شوند و فاکتورهای مختلفی در زمان خوشه‌بندی

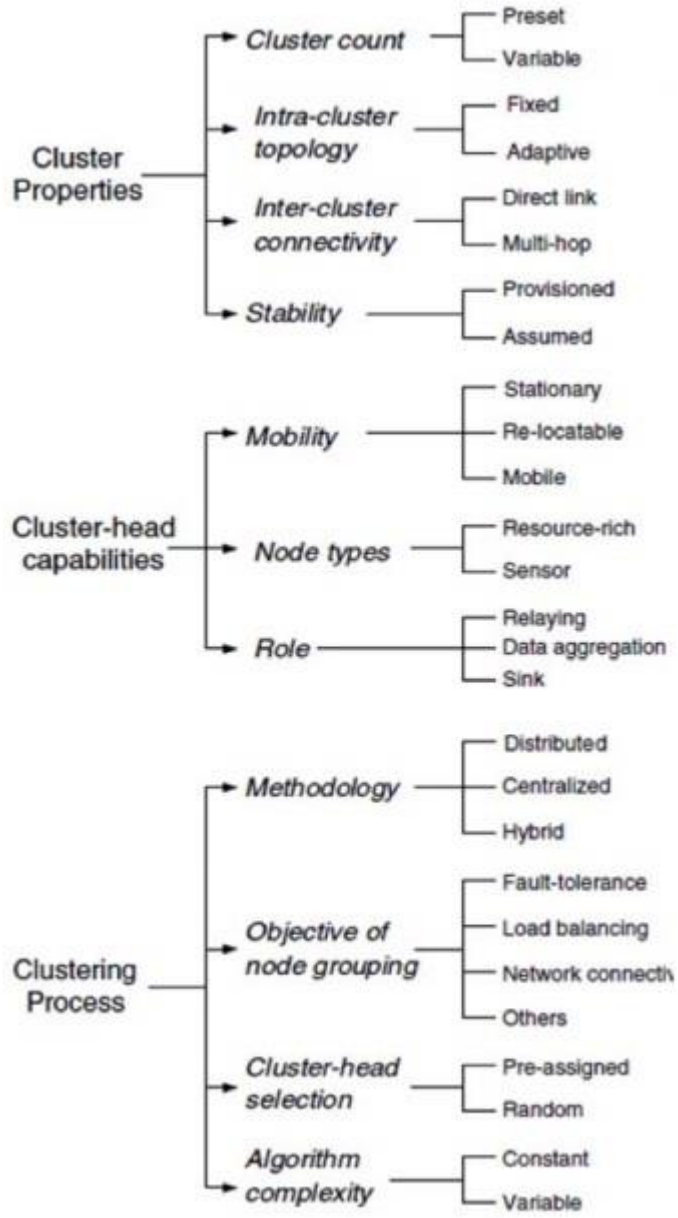

Fig. 1. Cluster properties, clusterhead capabilities and clustering process attributes to be considered [19].

باید فراهم شود.(شکل ۱)

۳. فرمولاسیون برنامه نویسی خطی عددی موجود برای مسئله خوشه‌بندی

پژوهش در شبکه‌های بی‌سیم و بهینه سازی شبکه‌های بی‌سیم عملیاتی درگیر با استفاده از کاربرد ILP در جهت پیدا کردن راه‌حل بهینه برای مشکلات متعددی است. یک نمونه از این مسئله، مسئله چندپخشی حداقل انرژی (MEM){۲۰} در شبکه‌های بدون زیرساخت بی‌سیم با انتن‌های چند جهته است. مثال دیگر مسئله حداقل انتقال همه‌پخشی (MTB) {۲۱} است که هدف آن اجتناب از مسئله طوفان همه پخشی، از طریق توسعه طرح همه پخشی با حداقل تعداد انتقال است.

با این حال، فرمولاسیون ILP ، مسئله خوشه‌بندی در MANET را محدود می‌کند. اولین همکاری، بهترین همکاری طبق دانش ما، می‌توان به سال ۲۰۰۴ که در آن نویسندگان در {۱۵} فرموله یک مکانیسم الگوریتم خوشه‌بندی غیر خطی(non-ILP) به نام معماری

توری مجازی (VGA) و فرمول خطی (ILP) مربوطه، به عنوان پایه‌ای برای مقایسه استفاده شده است. هدف از این فرمول ILP پیدا کردن مجموعه حداقلی از سرخوشه‌های متصل بود. توپولوژی تولیدی یک-گامی و با توجه به قابلیت‌های حل کننده، سایز شبکه در هنگام مقایسه عملکرد VGA با ILP به ۳۰ گره محدود بود. حل فرمول ILP برای شبکه با ۳۰ گره، با استفاده از CPLEX و در زمان ۱۰۱۱,۵ ثانیه (حدود ۱۷ دقیقه) طول کشید. نتایج آزمایشان نشان داد که توپولوژی تولید شده از طریق فرمول ILP در مقایسه با سرخوشه تولید شده توسط VGA کمتر بود. در حالی که این مقاله توسط نویسندگان {۱۵} به جلو هدایت شد، اما می‌توان آنرا اولین تلاش در استفاده از فرمول ILP در رابطه با مسئله خوشه‌بندی دانست و اولین تلاش واقعاً قابل توجه در استفاده از فرمول ILP برای مسئله خوشه‌بندی کار انجام شده توسط نویسندگان {۲۲} در سال ۲۰۰۶ است. برخلاف مدل ارائه شده در {۱۵} ، نویسندگان در به دست آوردن حداقل تعداد سرخوشه‌ها تمرکز ندارند بلکه آنها بر انتخاب یک تعداد مشخص از سرخوشه‌ها تمرکز دارند تا اتصال گره‌ها با سرخوشه و اتصال بین سرخوشه‌ها در ستون فقرات به طور منظم باشد، بطوری که از حداکثر اندازه خوشه مشخص شده تجاوز نکند، و حداکثر طول عمر ممکن شبکه بدست بیاید.

نویسندگان در {۲۲} ۳ فرمول مختلف ILP را، هر کدام با یک رویکرد متفاوت برای ایجاد یک ستون فقرات، پیشنهاد دادند. اولین فرمولاسیون، خوشه‌بندی انرژی کارآمد ــ ستون فقرات تماماً متصل (EEC-FCB)، است که ستون فقرات از اتصال توری (mesh) تمام سرخوشه‌های انتخاب شده تشکیل شده است. فرمولاسیون دوم خوشه‌بندی انرژی کارآمد ــ ستون فقرات متصل (EEC-CB)، است محدودیت نیاز به اتصال توری(mesh) سرخوشه‌ها در ستون فقرات ملایم تر است، در نتیجه تعداد اتصالات زائد کاهش یافته است.

فرمول سوم، خوشه‌بندی انرژی کارآمد (EEC-R) فرموله شده با استفاده از یک سرخوشه پشتیبان، برای هر سرخوشه انتخاب شده است. شکل۲ توپولوژی تولید شده توسط ۳ فرمولاسیون را نشان می‌دهد.

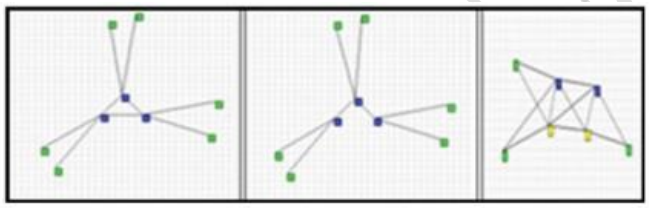

Fig. 2. Different network topologies: fully connected backbone, connected backbone, and redundant models [22].

مدل EEC-FCB تعداد بیش از حد لینک زائد در ستون فقرات تولید می‌کند. بخصوص هنگامی که با تعداد بسیار زیادی سرخوشه، پیکربندی تولید می‌شود. مدل EEC-CB از یک سرخوشه رئیس استفاده می‌کند تا تعداد لینک زائد را کاهش دهد اما معرفی یک سرخوشه رئیس در یک نقطه مرکزی با شکست مواجه است. با توجه به پیچیدگی فرمولاسیون ILP و محدودیت‌های عمومی استفاده‌های مبتنی بر حل-کننده ILP ، فقط فرمولاسیون ILP در شبکه با بیش از ۹ گره را می‌تواند حل کند. فرمول پیشنهادی تحت آزمایش قابل توجهی با انواع حل کننده عمومی مبتنی بر ILP قرار نگرفته است. علاوه براین، شعاع پوشش گره در نظر گرفته نشده است. فرض بر این بوده که تمام گره‌ها می‌توانند با یکدیگر ارتباط برقرار کنند. با این وجود، این کار اولین فرمول ILP قابل توجه برای مسئله خوشه‌بندی و یک پلت فرم برای افزایش قابل توجهی فراهم آورده است.

ILP همچنین در بهینه سازی طول عمر شبکه‌های حسگر بی‌سیم (WSN) {۲۳} و محلی سازی و پوشش حسگرها{۲۴} استفاده شده است. نویسندگان در {۱۳} جزئیات تفاوت بین MANETها و WSN را بیان کرده‌اند.

۴. فرمولاسیون برنامه نویسی خطی عددی پیشنهادی (این مقاله) برای مسئله خوشه‌بندی

در این مقاله یک فرمول ILP برای مسئله خوشه‌بندی براساس ایده و فرضیات مطرح شده در مدل EEC-CB ارائه شده در {۲۲} پیشنهاد شده‌است. این مدل نقاط ضعف موجود در مدل EEC-CB را بهبود بخشیده و افزونگی را از طریق استفاده از ستون فقرات حلقه-ستاره اضافه کرده است. علاوه بر این، پیشنهاد اجازه افزایش پوشش در محدوده، را داده است.

A. مدل پایه پیشنهادی

متغیرهای استفاده شده در {۲۲} به شرح زیر است:

- N:تعداد کل گره‌ها در شبکه (از پیش تعیین شده)
- P:تعداد سرخوشه‌ها (از پیش تعیین شده)
- d_{ij}: فاصله اقلیدسی بین گره i و j

- K:حداکثر تعداد گره که می‌توانند به یک سرخوشه متصل شوند(از پیش تعیین شده)
- c_{ij}:هزینه اتصال گره منظم i به سرخوشه j (متناسب با d^2_{ij})
- h_{jk}: هزینه اتصال سرخوشه j به سرخوشه k (متناسب با d^3_{ij})
- x_{ij}: برابر۱ است اگر گره I به سرخوشه j متصل باشد و یا اگر گره j به سرخوشه I متصل باشد در غیر اینصورت برابر ۰ است
- z_{ij}: برابر ۱ است اگر سرخوشه گره I به سرخوشه j متصل باشد در غیر اینصورت برابر ۰ است
- y_j: برابر ۱ است اگر گره j به عنوان یک سرخوشه انتخاب شده باشد در غیر اینصورت برابر ۰ است
- M_j: برابر ۱ است اگر گره j بعنوان سرخوشه رئیس انتخاب شود در غیر اینصورت برابر ۰ است
- ω_{ij}:برابر ۱ است اگر اگر $x_{ij}=1$ و $y_j=1$ در غیر اینصورت برابر ۰ است
- b_j: وزن تجمعی سرخوشه j .

پیش فرض‌های پیش رو در فرمولاسیون ساخته شده ILP {۲۲} در فرمول ارائه شده ILP نیز قابل اجرا هست. متغیر b، در تابع هدف که نشان دهنده سطح توانایی گره بعنوان سرخوشه است، این ارزش را از یک منبع خارجی(الگوریتم، ابزار و غیره) دریافت می‌کند. تعیین مناسبتر بودن یک گره بعنوان سرخوشه شدن، به عنوان یک روش/الگوریتم چندگانه، بسیار مفید است ، که می‌توان با ترکیب این مدل بدون تغییر معادلات به آن رسید اگرچه خارج از حوزه تحقیقات ما است. فرض بر این است که گره‌ها قادر به تعیین موقعیت یکدیگر هستند (بعنوان مثال: از طریق مکان یاب GPS).

تحرک در نظر گرفته شده در ماتریس هزینه(bوc) گنجانده شده است. مقدار هزینه در این ماتریس را می‌توان با تجمیع تحرک، انرژی باقی مانده و ترافیک پیشنهاد شده در{۲۵}و{۲۶} بدست آورد. معادله۱ تابع هدف را به حداقل میرساند. ساختار تابع هدف مشابه با استفاده از مدلهای EEC-FCB و EEC-CB {۲۲} نگهداری می‌شود.

$$Min: \left(\sum_{i=1}^{N}\sum_{j=1}^{N} c_{i,j}x_{i,j} + \sum_{j=1}^{N} b_j y_j + \sum_{j=1}^{N} b_j M_j + \sum_{j=1}^{N}\sum_{k=1}^{N} h_{j,k} Z_{j,k} \right). \quad (1)$$

عبارت اول در تابع هدف نشان دهنده ارتباط بین گره‌ها و سرخوشه‌ها است. عبارت دوم نشان دهنده انتخاب گره بعنوان سرخوشه است. در فرمول پیشنهادی، MCH یک سرخوشه منظم نیست و درنتیجه نیاز است که ما یک تابع هدف داشته باشیم که بهنگام طراحی شبکه هزینه‌های آن گرفته شود. این موضوع در عبارت سوم معادله (۱) نشان داده شده است. اخرین عبارت ارائه دهنده ارتباط بین سرخوشه‌ها هست. هدف از تابع هدف به حداقل رساندن هزینه ارسال/دریافت داده‌ها در طول این اتصالات است. محدودیت‌های استفاده در زیر توضیح داده شده است. لازم به ذکر است که، محدودیت‌های ۲ ، ۱۰ ، ۱۱ از {۲۲} گرفته شده، محدودیت‌های ۳-۹ ، ۱۲-۱۶ براساس کار {۲۲} است و محدودیت‌های ۱۷-۴۰ متحصر به فرد است.

محدودیت۲ این محدودیت را اجرا می‌کند که فقط یک MCH وجود داشته باشد. محدودیت ۳ نیز محدودیت تعداد کل سرخوشه‌ها برابر P – 1 باشد را اجرا می‌کند. این محدودیت می‌گوید که اگر مجموع P سرخوشه وجود داشته باشد، آنگاه MCH 1 و P – 1 سرخوشه منظم وجود دارد.

$$\sum_{j=1}^{N} M_j = 1. \quad (2)$$

$$\sum_{j=1}^{N} y_j = P - 1. \quad (3)$$

محدودیت (۴) حد بالایی در تعداد کل اتصالات گره است. اگر یک گره، یک گره منظم باشد می‌توان انرا به گره دیگری متصل کرد (این گره یک سرخوشه خواهد شد که توسط محدودیت‌های بعدی اجرا می‌شود). اگر یک گره سرخوشه باشد، به K گره منظم دیگر وصل خواهد شد (این موضوع محدودیت حداکثر اندازه خوشه را به اجرا می‌گذارد).

$$\sum_{i=1}^{N} x_{i,j} \leq 1 + (K-1)y_j \quad \forall j. \qquad (4)$$

محدودیت (۵) حد پائینی تعداد کل اتصالات گره است. اگر گره یک گره مرتب باشد باید به کوچکترین گره قبلی متصل باشد (ممکن است با اجبار محدودیت‌های بعدی، سرخوشه بشود). اگر یک گره سرخوشه باشد باید از کوچکترین گره هم پشتیبانی کند. اگر یک گره MCH باشد به یک اتصال با گره منظم محدود نیست. بنابراین، اون می‌تواند (و در این مورد باید) هیچ اتصالی با گره‌های منظم نداشته باشد.

$$\sum_{i=1}^{N} x_{i,j} \geq 1 - M_j \quad \forall j. \qquad (5)$$

محدودیت (۶) حد بالایی در حداکثر تعداد اتصالات ستون فقرات است. اکر یک گره سرخوشه باشد نمی‌تواند بیش از ۳ اتصال ستون فقراتی داشته باشد(یک اتصال به MCH اتصال ستاره‌ای می‌شود و با دو اتصال به سرخوشه‌های منظم، لینک حلقه‌ای ایجاد می‌شود). اگر یک گره MCH باشد، به تمام سرخوشه‌های منظم (P - 1) متصل خواهد شد.

$$\sum_{\substack{j \\ j \neq k}}^{N} z_{j,k} \leq (P-1)M_k + 3y_k \quad \forall k. \qquad (6)$$

محدودیت (۷) برای به اجرا در آوردن حد پائین در تعداد اتصالات ستون فقرات، بکار گرفته می‌شود. اگر گره یک سرخوشه منظم باشد آنگاه می‌تواند حداقل به دو گره دیگر متصل بشود، یکی گره سرخوشه منظم دیگر و یکی هم MCH است. اگر یک گره MCH باشد، آنگاه به همه سرخوشه‌های منظم دیگر(P - 1) متصل می‌شود.

$$\sum_{\substack{j \\ j \neq k}}^{N} z_{j,k} \geq (P-1)M_k + 2y_k \quad \forall k. \qquad (7)$$

محدودیت (۸) برای به اجرا در آوردن محدودیت در اتصالات ستون فقرات بین سرخوشه‌های منظم و MCH و یا بین سرخوشه‌های منظم با یکدیگر استفاده شده است. ارتباط بین گره‌های منظم و سرخوشه‌ها بعنوان اتصالات در ستون فقرات به شمار نمی‌آید.

$$z_{j,k} \leq \frac{M_j + y_j + M_k + y_k}{2} \qquad \forall j \forall k j \neq k. \qquad (8)$$

محدودیت (۹) برای به اجرا درآوردن این محدودیت که اگر یک گره بعنوان یک سرخوشه منظم انتخاب شد دیگر نمی‌تواند بعنوان یک MCH انتخاب شود و بلعکس. گره فقط می‌تواند یکی از این دو باشد.

$$(y_j + M_j) \leq 1 \qquad \forall j. \qquad (9)$$

محدودیت ۱۰ برای اطمینان از اینکه گره‌ها به خود متصل نیستند مورد استفاده قرار می‌گیرد ، محدودیت ۱۱ از ماتریس قطری X برای اطمینان از ارتباط بین گره‌های منظم و سرخوشه‌های منظم استفاده می‌کند. این محدودیت می‌گوید که اگر سرخوشه ۱ به گره ۲ متصل باشد آنگاه گره ۲ نیز به سرخوشه ۱ متصل است. محدودیت ۱۲ همین کار را برای نشان دادن ارتباط بین سرخوشه‌ها در ماتریسZ، انجام می‌دهد.

$$\sum_{i=1}^{N} x_{ii} = 0 \qquad (10)$$

$$x_{i,j} = x_{j,i} \quad \forall i \quad \forall j \qquad (11)$$

$$z_{i,j} = z_{j,i} \quad \forall i \quad \forall j. \qquad (12)$$

محدودیت (۱۳) تعداد کل اتصالات بین گره منظم و سرخوشه‌ها را به همان تعداد، به عنوان تعدادی از گره منظم محدود می‌کند. هرگره منظم باید حداقل به یک سرخوشه متصل باشد. محدودیت (۱۴) برای محدود کردن تعداد کل اتصالات ستون فقرات به $2(P-1)-1$ است. یکی کسر شده است بخاطر اینکه حلقه از بین برود و باز باشد، همانطوری که قبلا توضیح داده شد. محدودیت (۱۵) برای اطمینان از اینکه سرخوشه به خودش متصل نیست استفاده می‌شود. محدودیت (۱۶) برای اطمینان از اینکه گره منظم به یکدیگر متصل نیستند استفاده می‌شود. هنگامی که x (غیر ستون فقرات) اتصالات ساخته می‌شود حداقل یکی از گره‌ها باید سرخوشه بشود.

$$\sum_{i=1}^{N} \sum_{j=i+1}^{N} x_{i,j} = (N-P). \qquad (13)$$

$$\sum_{i=1}^{N} \sum_{j=i+1}^{N} z_{i,j} = 2(P-1)-1. \qquad (14)$$

$$\sum_{i=1}^{N} z_{ii} = 0. \qquad (15)$$

$$x_{j,k} \leq \frac{1+y_j+y_k}{2} \quad \forall j \forall k j \neq k. \qquad (16)$$

همه توپولوژیها باید حداقل یکی MCH و دوتا سرخوشه منظم داشته باشند. همه سرخوشه‌های منظم باید حداقل از یک گره منظم پشتیبانی کنند. MCHها به هیچ گره منظمی متصل نکنید. در MCH تعداد سرخوشه‌های منظم قابل شمارش نیست.

هدف داشتن یک ستون فقرات بصورت حلقه ستاره‌ای همانطوری که در شکل ۳ نشان داده شده است که در آن لینک‌های زائد کمتری نسبت به مدل EEC-FCB وجود دارد {۲۲}(به عنوان مثال: برخلاف مدل توری (مش) گره ۱ به گره ۳،۴و یا ۵ بطور مستقیم وصل نیست) علاوه بر این، برخلاف مدل EEC-FCB، شکست در یک نقطه اجتناب می‌شود{۲۲}.

به جای توری(مش) در شکل۳ یک اتصال ستاره‌ای بین ۲ گره و MCH و دیگر سرخوشه‌ها وجود دارد. علاوه براین سرخوشه‌ها از طریق یک حلقه به هم متصل شده‌اند.

B. بهبود ارتباطات داخل خوشه‌ای

ارتباطات درون خوشه‌ای به دو دلیل معرفی شده است. اول اینکه مسئولیت اصلی سرخوشه، باید مسیر ارتباطی بین خوشه‌ها که در یک خوشه نیستند، باشد. هدف این است که سرخوشه انرژی بیشتری را تا حد امکان برای ارتباط بین خوشه‌ها ذخیره کند تا اجازه دهد سرخوشه بطور طولانی قادر به ایفای نقش خود باشد. دلیل دوم پشت افزایش ارتباطات درون خوشه‌ای است که باید یک سرخوشه خراب شود تا گره‌ها در خوشه توانای برقراری ارتباط را داشته باشند.

معادله ۱۷ برای به حداقل رساندن تابع هدف است. ساختار تابع هدف شبیه استفاده از یکی از مدلهای EEC-FCB و EEC-CB نگهداری می‌شود {۲۲}. این تابع هدف در مدل "حلقه ستاره" پیشنهادی، مدت اضافه‌تری استفاده می‌شود.

$$Min: \left(\sum_{i=1}^{N}\sum_{j=1}^{N} c_{ij}x_{ij} + \sum_{j=1}^{N} b_j y_j + \sum_{j=1}^{N} b_j M_j + \sum_{j=1}^{N}\sum_{k=1}^{N} h_{jk} z_{jk} + \sum_{j=1}^{N}\sum_{k=1}^{N} A_{jk} v_{jk} \right). \quad (17)$$

جمله اول در تابع هدف نشان‌دهنده ارتباط بین گره‌ها و سرخوشه‌هاست. جمله دوم نشان‌دهنده انتخاب گره بعنوان سرخوشه است. جمله سوم نشان دهنده هزینه انتخاب MCH است. جمله چهارم هزینه ارتباط بین سرخوشه‌ها(ستون فقرات) است. جمله اخر اصطلاح اضافی، اضافه شده به ترکیب هزینه‌های ارتباطی بین گره‌های منظم درون خوشه یعنی ارتباط داخل خوشه‌ای است. تابع هدف با هدف به حداقل رساندن هزینه ارسال/دریافت داده در این اتصالات است.

این افزایش پیشنهادی نیاز به مقدمه‌ای از متغییرهای جدید زیر دارد. متغییرهای $v_{i,j}$ و f_{i,j,m^*} دو متغییر جدیدی هستند که زمانی که امکان اتصال در داخل خوشه‌ها وجود دارد استفاده می‌شوند جایی که

$$f_{i,j,m^*} = \begin{cases} 1, & \text{if node } i \text{ and } j \text{ are connected to the same clusterhead} \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$v_{i,j} = \begin{cases} 1, & \text{if regular node } i \text{ is connected to regular note } j \\ 0, & \text{otherwise.} \end{cases}$$

شاخص m^* از صفر شروع می‌شود، که تحت ۳ شرط ($i \neq j$, $j \neq k$, $i \neq k$) افزایش می‌یابد و برای نشان دادن امکان اتصال ۲ گره دیگر به سرخوشه استفاده می‌شود.

شاخص m^* برای نشان داده تعداد ظرفیت و نه برای هویت گره درگیر استفاده می‌شود. همیشه به تعداد $N - 2$ فرصت وجود دارد. برای مثال، گره با ۷ گره، در یک شبکه که شامل گره i و گره j است، باید بررسی شود که آیا آنها هر دو به یک سرخوشه متصل شده‌اند در نتیجه می‌تواند به ۵ گره باقی مانده دیگر نیز وصل شوند (آنها باید توسط سرخوشه انتخاب شوند). علاوه بر محدودیت‌هایی که قبلا توضیح داده شده (۲ محدودیت از محدودیت ۱۶) محدودیت‌های ۱۸ تا محدودیت ۲۳ برای ارتباط داخل خوشه‌ای وجود دارد.

محدودیت ۱۸و۱۹ برای نشان دادن اینکه گره i به گره j متصل است اگر آن دو به یک سرخوشه متصل باشند، استفاده می‌شود (N = تعداد کل گره‌ها).

$$(v_{i,j} - \sum_{k=0}^{N-3} f_{i,j,k}) \leq 0 \qquad \forall i \forall j i \neq j. \quad (18)$$

$$(N v_{i,j} - \sum_{k=0}^{N-3} f_{i,j,k}) \geq \qquad \forall i \forall j i \neq j. \quad (19)$$

محدودیت ۲۰ برای به اجرا در آوردن محدودیت اینکه یک گره نتواند از طریق یک-هاپ به خودش متصل بشود، استفاده می‌شود.

$$\sum_{i=1}^{N} v_{ii} = 0. \quad (20)$$

محدودیت ۲۱ برای اینکه نشان دادن وضعیت گره i که به گره j متصل است در یک خوشه هستند و همچنین نشان می‌دهد که گره j به گره i متصل است (ماتریس قطری است).

$$v_{i,j} + v_{j,i} = 0 \qquad \forall i \forall j. \quad (21)$$

محدودیت ۲۲ و ۲۳ با یکدیگر برای پیاده سازی "AND" منطقی استفاده می‌شود. گره i و گره j از طریق ارتباطات داخل خوشه‌ای بهم متصل‌اند اگر آن دو به سرخوشه K ، از طریق m^*امین اتصال رضایت بخش بین خوشه‌ای موجود، متصل باشند.

$$2f_{i,j,m*} - x_{i,k} - x_{j,k} \leq 0 \qquad \forall i \forall j \forall k i \neq ji \neq kj \neq k \quad (22)$$

$$x_{i,k} + x_{j,k} - f_{i,j,m*} \leq 1 \qquad \forall i \forall j \forall k i \neq ji \neq kj \neq k. \quad (23)$$

شکل ۴ راه‌حل بدست آمده بوسیله حل فرمول توانایی ارتباطات داخل خوشه‌ای برای گره داده شده را نشان می‌دهد. همچنین نشان می‌دهد که گره ۸ و گره ۵ به سرخوشه ۲ متصل شده‌اند اما همچنان به هم متصلند. به طور مشابه گره ۱،۳ و گره ۴ به سرخوشه ۶ متصلند اما همچنین با هم متصل اند.

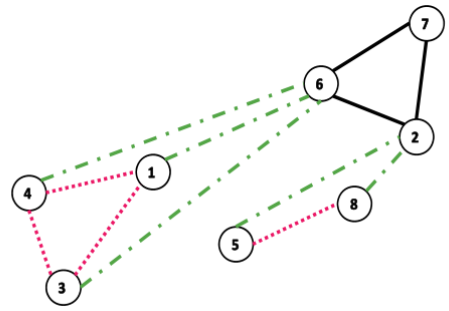

Fig. 4. Sample MANET topology with intracluster conections.

C. افزایش اتصالات چند گامی

اتصالات چند گامی که در فرمولاسیون معرفی شده اجازه دهد تا لینک‌های گران قیمت طولانیتر بتوانند بوسیله لینکهای ارزان کوتاه‌تر جایگزین شوند. ترجیحاً اتصال مستقیم به سرخوشه که در مکان دورتری قرار دارد نسبت به ساخت اتصالات کم هزینه از سرخوشه بین دیگر گره‌های منظم برتری دارد. با این حال، گره‌های منظم میانی در حال حاضر، به یک معنا، مانند یک سرخوشه ردیف دوم برای مسیریابی بین گره‌های منظم موجود در سرخوشه، عمل می‌کنند. تابع هدف زیر به عنوان سمبل هزینه اتصال چند گامی برای مدل ستاره-حلقه پیشنهادی استفاده می‌شود.

$$Min: \left(\sum_{i=1}^{N}\sum_{j=1}^{N} c_{ij}x_{ij} + \sum_{j=1}^{N} a_j y_j + \sum_{j=1}^{N} a_j M_j + \sum_{j=1}^{N}\sum_{k=1}^{N} h_{jk} z_{jk} + \sum_{i=1}^{N}\sum_{j=1}^{N}\sum_{k=1}^{N} B_{jk} b_{ijk} \right). \quad (24)$$

B_{JK} نشان دهنده هزینه اتصال گره J به گره K است. این هزینه مشابه هزینه در تابع هدف اصلی در مدل پایه پیشنهادی و مدلهای خوشه‌بندی انرژی کارآمد با ستون فقرات کاملاً متصل (EEC-FCB) و خوشه‌بندی انرژی کارآمد با ستون فقرات متصل (EEC-CB) ارائه شده توسط نویسندگان در {۲۲} است. هزینه اتصال گره J و گره K با $B_{J,K}$ ، متناسب با فاصله بین گره هاپ (hopping node) و گره میانی که بعنوان هاپ در سرخوشه استفاده می‌شود، تخمین زده می‌شود. این موضوع در معادله ۲۵ نشان داده شده است.

$$B_{j,k} \propto d_{j,k}^{n}. \quad (25)$$

مقادیر n به عوامل متعددی از جمله در درجه اول به درجه‌ی اتصالات چند گامی که باید بیش از ارتباطات مستقیم مورد تشویق قرار بگیرد، بستگی دارد. با این حال، مقدار n به مربع فاصله بین اتصالات گره‌های منظم-سرخوشه (n=۲) بستگی ندارد و همچنین به مکعب فاصله بین اتصالات سرخوشه-سرخوشه‌ها (n=۳) بستگی ندارد. اگرچه بین آنها چیزی وجود دارد. دلیل این است که گره میانی (گره J) نه تنها مسئول ارسال اطلاعات خود به سرخوشه است بلکه مسیریابی بین گره هاپ (گره K) تا سرخوشه را انجام می‌دهد. این مقدار را می‌توان بوسیله شبیه سازی براساس اتصالات چندگامی مورد علاقه بیش از ارتباط مستقیم تنظیم و یا وضع کرد. براساس آزمایش و شبیه سازی اولیه ما، ما متوجه شدیم که راه‌حل n=۲,۵ ارائه شده، برای اتصالات چند گامی بدون جریمه بیش از حد، است. مقادیر بزرگتر از n تمایل به جریمه بیش از حد اتصالات چند گامی دارند و در عوض ترجیح می‌دهند به طور مستقیم به گره سرخوشه متصل شوند، در حالی که مقادیر پایینتر n منجر به گره هاپ (nodes hopping) با بیش از حد گره مجاور داشته باشند حتی زمانی که سرخوشه در محدوده باشد.

متغیرهای روبرو برای معرفی فرمولاسیون محدودیت‌های اتصالات چندگامی است

$$b_{i,j,k} = \begin{cases} 1, & \textit{if node } i \textit{ is connected to clusterhead} \\ & \quad k \textit{ through node } j \\ 0, & \textit{otherwise} \end{cases}$$

$$q_{i,j} = \begin{cases} 1, & \textit{if regular node } i \textit{ is connected} \\ & \quad \textit{to regular node } j \\ 0, & \textit{otherwise.} \end{cases}$$

متغیر $b_{i,j,k}$ و $q_{i,j}$ دو متغیر جدیدی هستند که برای قادرساختن اتصالات چندگامی استفاده می‌شود. این متغیرها به دلیل هزینه‌های متفاوت اتصال هاپ نسبت به اتصالات منظم ارائه شده توسط متغیر $x_{i,j}$، مورد نیاز است. همچنین مهم است که به یاد داشته باشیم که محدویت‌های خاصی را باید در جای خود نگه داریم، بعنوان مثال، گره‌های منظم که فقط از هاپ استفاده کنند تا گره‌های منظم به سرخوشه‌ها متصل شوند، غیر منطقی است اگر آنها برای ارتباط یک سرخوشه با سرخوشه دیگر از هاپ استفاده کنند. محدودیت‌های مورد نیاز برای فعال کردن اتصالات چند گامی (چند هاپی) به شرح زیر است.

علاوه بر محدودیت‌های ۲-۴ ، ۷-۱۲ و ۱۴-۱۶ ،که قبلا توضیح داده شده، محدودیت ۲۶-۳۸ درحال حاضر برای فعال کردن ارتباطات چندگامی اضافه شده است. محدودیت ۲۶ به جای محدودیت ۶ استفاده می‌شود. حداکثر اتصال گره i می‌تواند برابر K باشد زمانی که گره i یک سرخوشه باشد. در چندگامی (چند هاپی) حداکثر اندازه خوشه باید همچنین شامل گره‌های که از طریق گره هاپ به سرخوشه متصل شده‌اند باشد.

$$\sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^{N} \sum_{\substack{k=1 \\ k \neq i}}^{N} (b_{i,j,k} + x_{i,j}) \leq K \quad \forall i. \tag{26}$$

محدودیت ۲۷ به جای محدودیت ۵ استفاده می‌شود. حداقل تعداد اتصالات گره i باید ۱ باشد اگر یک گره منظم باشد و باید برابر ۰ باشد اگر ان گره MCH باشد.

$$\sum_{i=1}^{N} (x_{i,j} + q_{i,j}) \geq 1 - M_j \quad \forall j. \tag{27}$$

محدودیت ۲۸ به جای محدودیت ۱۳ استفاده می‌شود و تضمین می‌کند که تعداد کل اتصالات غیر ستون فقراتی برابر N – P است. این شامل هردو برپایه هاپ و اتصالات مستقیم است.

$$\sum_{i=1}^{N} \sum_{j=i+1}^{N} (x_{i,j} + q_{i,j}) = (N - P). \tag{28}$$

محدودیت ۲۹ برای اطمینان حاصل شدن از اینکه تنها گره‌هایی که به سرخوشه متصل هستند ($x_{ik} = 1$) می‌توانند به عنوان گره هاپ استفاده شوند، مورد استفاده قرار گرفته است.

$$(t_{i,j,m*} - x_{i,k}) \leq 0 \quad \forall i \forall j \forall k i \neq j i \neq k j \neq k. \tag{29}$$

m^* شاخص شروع از صفر می‌باشد و زمانی که ۳ شرط مورد رضایت ($i \neq j$, $j \neq k$, $i \neq k$) برقرار باشد افزایش می‌یابد و برای نشان دادن یک مسیر هاپ بالقوه است. m^* برای نشان دادن تعداد مسیر بالقوه هاپ استفاده می‌شود، نه برای نشان دادن مسیر هاپ موجود از مسیر $t_{i,j,k}$. این فرم به این خاطر استفاده می‌شد تا تاکید کند که آیا این هاپ یک مسیر هست یا نه و براحتی این مدل را کدنویسی کرد.

محدودیت ۳۰ و ۳۱ برای اطمینان از اینکه امکان ندارد یک هاپ به سرخوشه تبدیل شود، استفاده می‌شود. بنابراین اگر y_j برابر ۱ باشد و یا y_i برابر ۱ باشد آنگاه تمام هاپ های بالقوه بین y_j و y_i فرض می‌شود که نمی‌توانند بخاطر اینکه y_j و y_i سرخوشه هستند.

$$(t_{i,j,m*} + y_j) \leq 1 \quad \forall i \forall j i \neq j. \tag{30}$$
$$(t_{i,j,m*} + y_i) \leq 1 \quad \forall i \forall j i \neq j. \tag{31}$$

محدودیت ۳۲ اضافه شده است تا اطمینان حاصل شود که از یک گره خاص تنها یک اتصال مستقیم به سرخوشه و یا یک اتصال هاپی به سرخوشه، وجود دارد. گره نمی‌تواند به سرخوشه هردو به طور مستقیم و بوسیله هاپ گره‌های دیگر متصل بشود.

$$(x_{i,j} + q_{i,j}) \leq 1 \quad \forall i \forall j. \tag{32}$$

محدودیت ۳۳ و ۳۴ برای شناسایی گره i که به گره j وصل شده بکار می‌رود اگر یکی از مسیرهای هاپ بالقوه باشند. (N برابر تعداد کل گره‌ها است)

$$\left(q_{i,j} - \sum_{k=0}^{N-3} t_{i,j,k}\right) \leq 0 \quad \forall i \forall j i \neq j \leq 0. \tag{33}$$
$$\left(N q_{i,j} - \sum_{k=0}^{N-3} t_{i,j,k}\right) \geq 0 \quad \forall i \forall j i \neq j. \tag{34}$$

محدودیت ۳۵ برای به اجرا در آوردن محدودیت در یک گره که نمی‌تواند از طریق یک هاپ به خودش متصل شود، استفاده می‌شود.

$$\sum_{i=1}^{N} q_{ii} = 0. \tag{35}$$

محدودیت ۳۶ استفاده شده تا وضعیت گره i بتواند به هاپ j تبدیل شود اگر j هاپی باشد برای i . (ماتریس اتصال q یک ماتریس غیر قطری است). گفتن این که گره i یک هاپ به سرخوشه j است با این گفته که گره j یک هاپ است به سرخوشه i با هم برابر نیست. گره‌ای که معیارهای سرخوشه را داشته باشد برخلاف داشتن تعداد x اتصال است که در آن فقط معیار تعداد اتصال آورده شده است.

$$q_{i,j} + q_{j,i} \leq 1 \quad \forall i \forall j. \tag{36}$$

محدودیت ۳۷ و ۳۸ برای پیاده سازی AND منطقی استفاده می‌شود. گره k می‌تواند از گره j بعنوان هاپ برای رسیدن به سرخوشه i استفاده کند اگر i سرخوشه باشد و j به i متصل باشد و اتصال k به j ممکن باشد.

$$2b_{i,j,k} - x_{i,j} - q_{j,k} \leq 0 \quad \forall i \forall j \forall k i \neq j i \neq k j \neq k. \tag{37}$$
$$x_{i,j} + q_{j,k} - b_{i,j,k} \leq 1 \quad \forall i \forall j \forall k i \neq j i \neq k j \neq k. \tag{38}$$

شکل ۵ راه‌حل به دست آمده بوسیله حل کردن فرمول لینک چند گامی برای مجموعه‌ای از لینک‌های گره‌های فعال را نشان می‌دهد. به عنوان نمونه، گره ۵ به سرخوشه ۲ از طریق گره ۸ وصل شده است. به طور مشابه، گره۳ و ۴ به سرخوشه ۶ ار طریق گره۱ وصل شده‌اند.

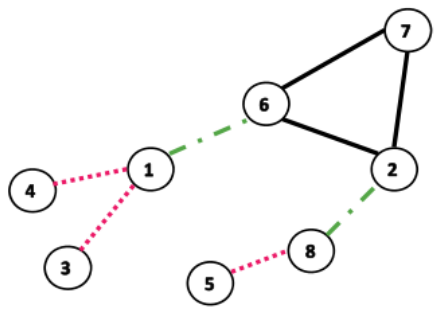

Fig. 5. Sample MANET topology with multihop connections.

D. افزایش پوشش

مدل پایه پیشنهادی می‌تواند در شعاع تحت پوشش امواج گره‌ها در شبکه گسترش یابد و اطمینان حاصل شود که اتصالات تنها بین گره‌هایی که در شعاع پوششی یکدیگر هستند، ایجاد می‌شود. شبیه به روشی که در فاصله بین گره‌ها برای تعیین هزینه ارتباطات، استفاده می‌شد، آنها را می‌توان از لحاظ ناحیه تحت پوشش امواج گره‌ها با یکدیگر مقایسه کرد و از آن برای بدست آوردن ماتریسی از گره‌ها که هر گره می‌تواند به آن گره وصل شود ولی او نمی‌تواند (به اینها وصل شود) استفاده کرد.

این کار با استفاده از ماتریس d شدنی است، که برای حفظ فاصله بین گره‌ها استفاده شده است. دوماتریس جدید ماتریس nc و ماتریس cv معرفی شده است. متغیر $cv_{i,j}$ یک متغیر باینری است که نشان دهنده این موضوع است که آیا گره i و گره j در ناحیه تحت پوشش یکدیگر قرار دارند یا خیر. آنرا می‌توان بوسیله کم کردن فاصله بین گره‌ها در ناحیه تحت پوشش هر گره، تعریف کرد. اگر هر دو نتیجه مثبت باشد آنها می‌توانند با هم ارتباط برقرار کنند وگرنه امکان پذیر نیست. برقراری واقعی اتصال در هزینه وابسته است(که متناسب با فاصله است).

$$cv_{i,j} = \begin{cases} 1, & \textit{if node } i \textit{ and node } j \textit{ can connect} \\ 0, & \textit{otherwise.} \end{cases}$$

این مقدار را می‌توان با به اجرا در آوردن امکان اتصال بین گره با استفاده از محدودیت ۱۸و۱۹ استفاده کرد. مهم است که به یاد داشته باشیم که فرض شده است از تکنیک‌های محلی سازی خارجی مثل GPS استفاده می‌شود.

به منظور اعمال محدودیت پوششی در هر یک از مدلهای فوق (مدل ستاره-حلقه، مدل ستاره-حلقه با ارتباط داخل خوشه‌ای، مدل ستاره-حلقه با ارتباطات چند گامی)، محدودیت ۳۹ و ۴۰ فقط برای اطمینان از اینکه دو گره اگر در شعاع یکدیگر قرار داشتند بهم متصل شوند، اعمال شده است.

محدودیت ۳۹ و ۴۰ اطمینان حاصل می‌کند که دو گره اگر در ناحیه تحت پوشش یکدیگر قرار داشته باشند می‌توانند بهم متصل می‌شوند.

$$x_{i,j} \leq cv_{i,j} \quad \forall i \forall j. \tag{39}$$
$$z_{i,j} \leq cv_{i,j} \quad \forall i \forall j. \tag{40}$$

E. مثال گویا

به عنوان مثال توپولوژی نشان داده شده در شکل۶ برای نشان دادن تفاوت زمانی که مدل ستاره-حلقه بدون پوشش استفاده می‌شود و زمانی که محدودیت پوششی اعمال می‌شود را شامل می‌شود.

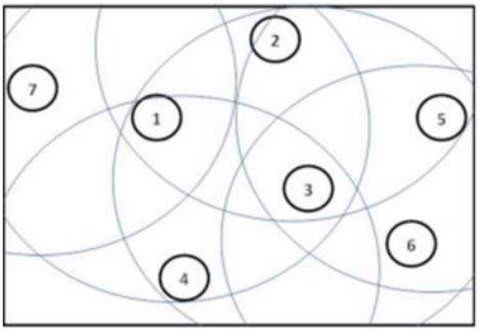

Fig. 6. Sample MANET topology.

در شکل۷ (بدون پوشش) گره۵ و گره ۱ بهم وصلند و گره۳ و گره۷ بهم وصل هستند، حتی اگر آنها خارج از ناحیه شعاع تحت پوشش یکدیگر باشند.

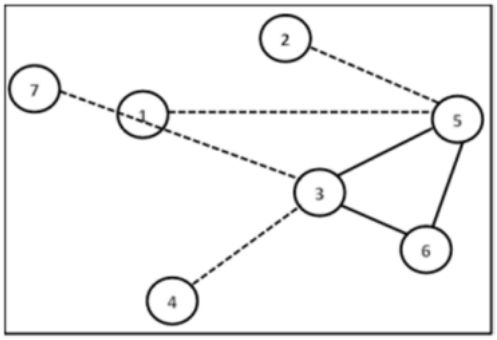

Fig. 7. Topology generated by the ILP formulation without coverage constraints.

در شکل ۸ اتصال مطمئنی بین گره‌ها زمانی که در ناحیه تحت پوشش هم قرار ندارند وجود ندارد.

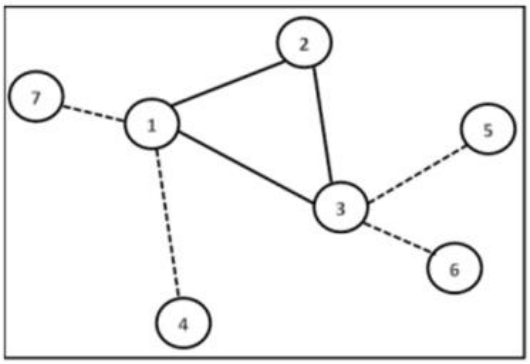

Fig. 8. Topology generated by the ILP formulation with coverage constraints.

۵. طراحی قالب و توسعه

به منظور تجزیه و تحلیل موثر رامحل تولید شده توسط فرمولاسیون، هر دو با و بدون افزایش، یک ابزار قابل حس که اجازه ایجاد توپولوژی شبکه سفارشی را بدهد نیاز است. هدف این است که اجازه واکنش ساده‌ای با انتخاب مجموعه حالات حل کننده، حل کننده عمومی مبتنی بر ILP تجاری CPLEX{۲۷}، حل کننده عمومی مبتنی برILP غیر تجاری SCIP {۲۸}، حل کننده ۰-۱ براساس SAT مبتنی برILP به نام BSOLO{۲۹} ، Pueblo{۳۰}و +Minisat{۳۱} داده شود.

شکل۹ یک تصویر سریع از منطقه کار ابزار است. مشکل توری(شبکه) دارد که در آن توپولوژی شبکه‌های سفارشی از طریق قرار دادن گره بوسیله کلیک کردن بر روی توری(شبکه) ایجاد شده است. تعداد مورد نظر از سرخوشه و حداکثر اندازه خوشه وارد شده است(شعاع پوششی هر گره که استفاده می‌شود هم، اگر این شعاع پوششی افزایش یافته باشد، وارد می‌شود).

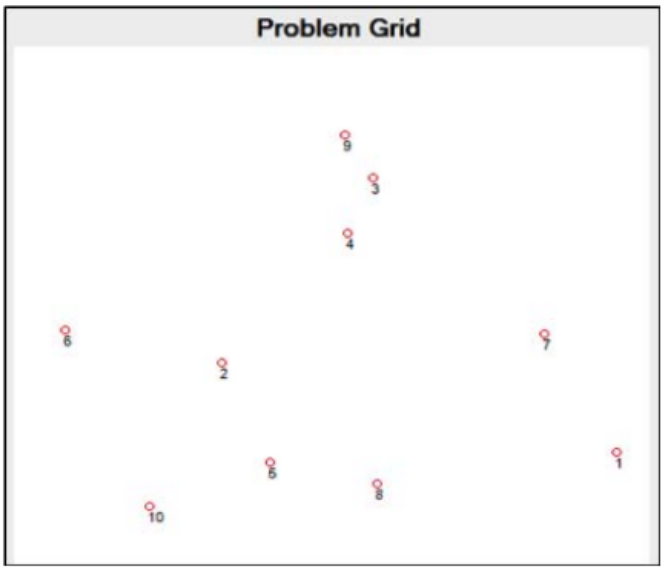

Fig. 9. Tool working area.

هنگامی که گره قرار داده شد و پارامترهای مورد نظر وارد شد، دو جایگزین (دو روش) برای تولید فرمول ILP مربوطه وجود دارد بوسیله حل کننده مورد نظر می‌توان آنرا حل کرد. روش اول یک روش دستی(manual) است. هنگام استفاده از این روش، قدم اول انتخاب مدل برای استفاده کردن(به عنوان مثال: مدل FCB اصلی {۲۲}، فرمول SR پیشنهادی، پیشرفتهای مورد نظر در صورت وجود) و انتخاب حل کننده‌اي(حل کننده‌هایی) که برای فرمول ILP باید تولید شود، است. برای حل کردن این دسته از فایل‌ها، می‌توان به صورت دستی برای حل کننده فرستاد، حل کرد، و راه‌حل‌های مفیدی بدست آورد. روش دوم یک روش خودکار (automatic) و یا روش دریافت جدید(Get Now) است، که در آن از ابزار ایجاد مثل روش اتصال SSH و SCP به سرور حل کننده و نصب شده از طریق کتابخانه TamirSSH {۳۲} ایجاد شده است. مدل و پیشرفت نیاز به انتخاب، ابزار برای تولید فایلها، انتقال آنها به سرور، اجرای حل مورد نظر، و بازیابی راه حل تولید شده دارد. این برای آزمایش یک توپولوژی در یک زمان (خاص) مناسب است. در شکل ۱۰ قسمت مدیریت(پانل) این ابزار نشان داده شده است که وضعیت اتصال به سرور با حل کننده، گزینه‌های انتخاب مدل و گزینه‌های سمت راست برای تولید فایل برای استفاده‌های دستی را نشان می‌دهد.

Fig. 10. Connection status and topology customization panel.

راه حل تولیدی " چه بصورت دستی و یا خودکار " ، را می‌توان بصورت " راه‌حل توری " ، " پهلو به پهلو با توپولوژی اصلی " میتوان بصورت شکل ۱۱ مشاهده کرد.

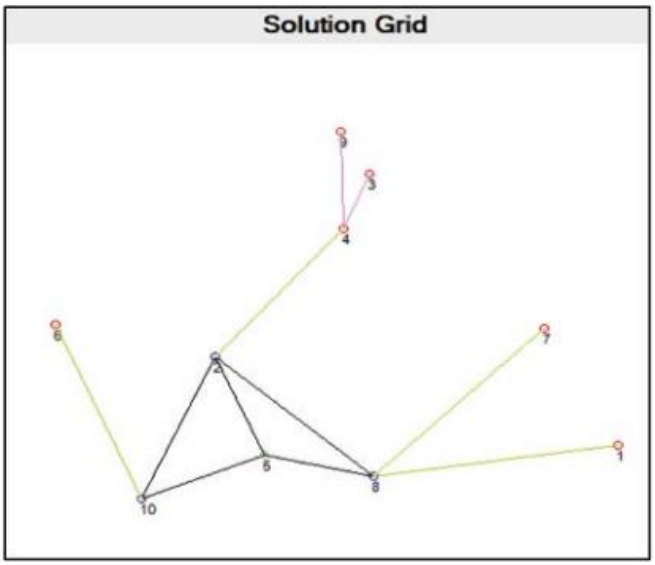

Fig. 11. Solution grid.

در گوشه پایین سمت راست شکل ۱۱ ، گزینه‌ای برای سفارشی کردن نمایش تولید راه‌حل وجود دارد تا به کاربر اجازه دیدن تنها اتصالات ستون فقرات سرخوشه‌ها، اتصالات گره منفرد و تنها اتصالات در یک خوشه و غیره را مشاهده کند. راه‌حل نشان داده شده در شکل ۱۱ ، نتیجه بدست آمده از راه‌حل فرمولاسیون ILP موبوط به توپولوژی شکل۹ برای مدلSR پیشنهادی با امکان افزایش اتصالات چند گامی است.

این ابزار همچنین مجموعه‌ای جامع از ویژگی‌های دیگر فراهم می‌کند از جمله توانایی برای تولید توپولوژی شبکه در مقیاس بزرگ با دادن گره تصادفی در صورت دلخواه، و برای تولید فرمولاسیون ILP برای همه آنها برای یک انتخاب مدل، انتخاب مجموعه‌ای از پیشرفت‌ها و برای انتخاب مجموعه حل کننده‌ها. علاوه بر این نیز اجازه می‌دهد تا کاربر نظری اضافه کند و نتیجه توپولوژی و راه‌حل مربوطه همراه با نظر کاربر را چاپ(پرینت) کند. اعتبار برای ورود به سرور که در آن حل کننده قرار دارد، نیز در یک پایگاه داده در ابزار ذخیره می‌شود و می‌تواند ویرایش کند، در نتیجه برای پاک کردن(removing) نیاز است که کاربر بصورت دستی وارد سرور شود.

۶. آزمایش و نتایج آن

آزمایش با استفاده از حل کننده زیر انجام شده است:

حل کننده عمومی تجاری مبتنی برILP به نام CPLEX ، حل کننده عمومی غیر تجاری مبتنی بر ILP به نام SCIP ، حل کننده منطقی ۰-۱ به نام BSOLO ، Pueblo و +Minisat . همه آزمایشات برروی یک ایستگاه کاری اینتل Xeon 3.2Ghz با سیستم عامل لینوکس با ۴ گیگ رم انجام شده است. سه مجموعه از آزمایشات انجام شد.

اولین مجموعه با مدل ستاره‌ای پیشنهادی بدون فعال کردن هیچ افزایشی صورت گرفته، دومین مجموعه با مدل ستاره‌ای پیشنهادی و فعال کردن امکان ارتباطات داخل خوشه‌ای صورت گرفته و مجموعه سوم با مدل ستاره‌ای پیشنهادی و فعال کردن امکان اتصالات چند جهتی است.

همه توپولوژی‌های شبکه به طور خودکار و به طور تصادفی از طریق ابزار توسعه یافته ایجاد شده است. تنظیمات شبکه شامل ۳ پارامتر کلیدی است: #N: تعداد گره در توپولوژی ، #CH : شماره سرخوشه مورد نظر در راه حل ، #MCH : حداکثر سایز خوشه که حداکثر تعداد گره سرخوشه را می‌تواند پشتیبانی کند.

مقدار MCH حداقل شامل تعداد معین گره و سرخوشه به شرح زیر است: اگر شبکه دارای ۴۰ گره باشد و تعداد سرخوشه مورد نظر ۳ عدد است پس تعداد کل گره منظم برابر ۳۷ عدد است. ۳ سرخوشه باید از ۳۷ گره منظم پشتیبانی کنند، با این حال یکی از سرخوشه‌ها باید نقش MCH را در پیکربندی پذیرفته باشد پس ۲ سرخوشه منظم باید از ۲۷ گره منظم پشتیبانی کنند. این به این معنی است که هر سرخوشه باید از ۱۹ گره حمایت کنند. در این روش حداقل مقدار MCS تعریف شده و برای تست ما مورد استفاده قرار گرفته است.

1 . تست عملکرد حل‌کننده با پیشنهاد مدل ستاره حلقه

تست بر روی تنظیمات مختلف شبکه انجام شده است. برای یک تعداد ثابت از گره، تعداد سرخوشه‌ها و پشتیبانی از حداکثر سایز خوشه و اثر آنها بر عملکرد حل‌کننده در حل فرمول ILP ، تجزیه و تحلیل شده است. عملکرد مجموعه‌ای از حل‌کننده‌ها در حل‌کننده ستاره حلقه ILP پیشنهادی ارزیابی شده است (بدون فعال کردن هیچ افزایشی). نتایج به دست آمده در جدول ۱ نشان داده شده است.

برای هر پیکربندی شبکه نشان داده شده در جدول، ۱۰۰ تست تولید شده و توسط راه حل‌های مختلف حل شده است. برای هر پیکربندی شبکه در جدول، متوسط زمان برای حل ۱۰۰ نمونه مربوطه نشان داده شده است. زمان ۱۵ دقیقه (۹۰۰ثانیه) برای هر حل‌کننده تنظیم شده است. همانطور که در جدول ۱ دیده می‌شود، حل‌کننده SAT همانند حل‌کننده BSOLO و Pueblo برای شبکه‌های کوچک مقیاس بخوبی عمل می‌کند. با این حال، اثبات شده است که حل‌کننده CPLEX و SCIP با افزایش سایز شبکه، سریعتر افزایش می‌یابد. با مقایسه زمان گرفته شده توسط حل‌کننده CPLEX برای حل توپولوژی با یک تعداد ثابت از گره اما تعداد متفاوت سرخوشه در شکل ۱۱ نشان داده شده است.

شکل ۱۱

شکل ۱۲

در شکل ۱۲ مشاهده شده است که برای یک تعداد معین از گره‌ها ، CPLEX به زمان بیشتری برای حل توپولوژی شبکه تعداد بیشتری سرخوشه دارد نیاز دارد. بقیه حل‌کننده ها هم بطور مشابه رفتار می‌کنند.

در آن می‌توان به وضوح دید که برای تعداد ثابتی از گره، اگر توپولوژی با تعداد زیادی از سرخوشه تولید شود، حل‌کننده به زمان بیشتری برای تولید راه‌حل نیاز دارد. مشابه این مشاهدات را می‌توان برای حل‌کننده های دیگر استفاده کرد. علاوه بر این، مشاهده شده است که Pueblo قادر به رسیدگی به موارد خاص نیست و وضعیت ناتوانی در حل مسئله را در جدول ۱ مشاهده می‌کنید.

این امر به دلیل عدم توانایی Pueblo در رسیدگی به مسئله مشکل با ضرایب بزرگ است. ضرایب بزرگ ارائه شده در فرمولاسیون ILP هزینه‌های مرتبط با گره متصل است. (هزینه لینک اتصال یک گره منظم به سرخوشه متناسب با مربع فاصله بین گره‌ها و هزینه اتصال سرخوشه‌های متناسب با مکعب فاصله بین سرخوشه‌ها است.)

به طور کلی، مشاهده شده است که CPLEX و SCIP کارایی خوبی با کمترین حل‌کننده MINISAT+ برای معیار ارائه شده دارند. در میان مجموعه‌ای از حل‌کننده‌های انتخاب شده، CPLEX و SCIP به شبکه‌های بزرگتر بهتر رسیدگی می‌کند زیرا تقریباً هرگز متوقف نمی‌شوند.

<<وسط پاراگراف ترجمه را رها کرده و از این مقاله برای پایان نامه استفاده نکردم.>>>

2. تست عملکرد حل‌کننده با بهبود ارتباطات داخل خوشه‌ای
3. تست عملکرد حل‌کننده با بهبود ارتباطات چند گامی

۷. نتیجه گیری
۸. منابع

REFERENCES

[۱]S. Chinara and S. Rath, “Energy efficient mobility adaptive distributed clustering algorithm for mobile ad hoc network,” in Proc. Int. Conf. Adv. Comput. Commun., 2008, pp. 265–272.

[۲]A. Schrijver, Theory of Linear and Integer Programming.New York, NY, USA: Wiley, 1999.

[۳]F. Aloul, A. Ramani, I. Markov, and K. Sakallah, “Generic ILP versus specialized 0-1 ILP: An update,” in Proc. Int. Conf. Comput.-Aided Design, 2002, pp. 450–457.

[۴]D. Chai and A. Kuehlmann, “A fast pseudo-Boolean constraint solver”, IEEE Trans. Comput.-Aided Design Integr. Circuits Syst., vol. 24, no. 3, pp. 305–317, Mar. 2005.

[۵]A. Sagahyroon, F. Aloul, and A. Sudnitson, “Using SAT-based tech-niques in low power state assignment,” J. Circuits, Syst., Comput,. vol. 20, no. 8, pp. 1605–1618, 2011.
[۶]A. Ling, D. Singh, and S. Brown, “FPGA programmable logic block evaluation using quantified Boolean satisfiability,” IEEE Comput. Digital Tech ., vol. 153, no. 3, pp. 165–172, May 2006.
[۷]S. Kim and J. Lee, “A system architecture for high-speed deep packet inspection in signature-based network intrusion prevention,” J. Syst. Archit., EUROMICRO J., vol. 53, nos. 5–6, pp. 310–320, May 2007.
[۸]G. Hughes and T. Bultan, “Automated verification of access control policies using a SAT solver,” Int. J. Softw. Tools Technol. Transf., vol. 10, no. 6, pp. 503–520, Oct. 2008.
[۹]I. Mironov and L. Zhang, “Applications of SAT solver to cryptanalysis of hash functions,” in Proc. Int. Conf. Theory Appl. Satisfiab. Test., 2006, pp. 102–115. ۲۴۱۲ IEEE SENSORS JOURNAL, VOL. 13, NO. 6, JUNE 2013
[۱۰]S. Tosun, O. Ozturk, and M. Ozen, “An ILP formulation for application mapping onto Network-on-Chips,” in Proc. Appl. Inf. Commun. Technol,. ,۲۰۰۹pp. 1–5.
[۱۱]A. Graca, I. Lynce, J. Marques-Silva, and A. L. Oliveira, “Haplotype inference with pseudo-Boolean optimization,” Ann. Oper. Res., vol. 184, no. 1, pp. 137–162, 2011.
[۱۲]A. Wasfy and F. Aloul, “Solving the University class scheduling problem using advanced ILP techniques,” in Proc. IEEE GCC Conf., Nov. 2007, pp. 1–5.
[۱۳]J. Garcia-Macias and J. Gomez, “MANET versus WSN,” in Sensor Networks and Configuration: Fundamentals, Standards, Platforms, and Applications. New York, NY, USA: Springer-Verlag, 2006, ch. 17, pp. 369–388.
[۱۴]K. Xu, X. Hong, and M. Gerla, “An ad hoc network with mobile backbones,” in Proc. IEEE Int. Conf. Commun., vol. 5. 2002, pp. 3138–3143.
[۱۵]J. N. Al-Karaki, A. E. Kamal, and R. Ul-Mustafa, “On the optimal clustering in mobile ad hoc networks,” in Proc. Consum. Commun. Netw. Conf., 2004, pp. 71–76.
[۱۶]H. Safa, O. Mirza, and H. Artail, “A dynamic energy efficient clustering algorithm for MANETs,” in Proc. IEEE Int. Conf. Wireless Mobile Comput., Netw. Commun., Oct. 2008, pp. 51–56.
[۱۷]J. G. Olascuaga-Cabrera, E. Lopez-Mellado, A. Mendez-Vazquez, and F. F. Ramos-Corchado, “A self-organization algorithm for robust networking of wireless devices,” IEEE Sensors J., vol. 11, no. 3, pp. 771–780, Mar. 2011.
[۱۸]J. Yu and P. Chong, “A survey of clustering schemes for mobile ad hoc networks,” IEEE Commun. Surv. Tuts., vol. 7, no. 1, pp. 32–48, Jan. 2005.
[۱۹]A. Abbasi and M. Younis, “A survey on clustering algorithms for wireless sensor networks,” Comput. Commun., vol. 30, nos. 14–15, pp. 2826–2841, Oct. 2007.
[۲۰]S. Guo and O. Yang, “Minimum-energy multicast routing in static wire-less ad hoc networks,” in Proc. Veh. Technol. Conf., vol. 6. Sep. 2004, pp. 3989–3993.
[۲۱]F.-W. Chen and J.-C. Kao, “Game-based broadcast over reliable and unreliable wireless links in wireless multihop networks,” in Proc. IEEE Int. Conf. Commun., vol. 5. Apr. 2002, pp. 3138–3143.
[۲۲]W. El-Hajj, D. Kountanis, A. Al-Fuqaha, and H. Harbi, “Optimal hierarchical energy efficient design for MANETs,” in Proc. Int. Conf. Commun. Mobile Comput., 2006, pp. 287–292.
[۲۳]A. Bari, A. Jaekel, and S. Bandyopadhyay, “Clustering strategies for improving the lifetime of two-tiered sensor networks,” Comput. Com-mun., vol. 31, no. 14, pp. 3451–3459, Sep. 2008.

[۲۴]J. Yick, A. Bharathidasan, G. Pasternack, B. Mukherjee, and D. Ghosal“ ,Optimizing placement of beacons and data loggers in a sensor network—A case study,” in Proc. Wireless Commun. Netw. Conf.,vol.4 ,۲۰۰۴ .pp. 2486–2491.
[۲۵]W. El-Hajj, Z. Trabelsi, and D. Kountanis, “Fast distributed dominating set based routing in large scale MANETs,” Comput. Commun., vol. 30 ,nos. 14–15, pp. 2880–2891, Oct. 2007.
[۲۶]W. El-Hajj, A. Al-Fuqaha, M. Guizani, and H. Chen, “On efficient network planning and routing in large scale manets,” IEEE Trans. Veh .Technol., vol. 58, no. 7, pp. 3796–3801, Sep. 2009.
[۲۷]IBM ILOG CPLEX Optimizer. (2011) [Online]. Available: http://www01.ibm.com/software/integration/optimization/cplex-optimizer/
[۲۸]SCIP: An Open Source MIP Solver and Constraint Integer Programming Framework. (2011) [Online]. Available: http://scip.zib.de/
[۲۹]V. Manquinho and J. Marques-Silva, “On using cutting planes in pseudo Boolean optimization,” J. Satisfiab., Boolean Model. Comput.,vol.2 ,pp. 209–219, Mar. 2006.
[۳۰]H. Sheini and K. Sakallah, “Pueblo: A hybrid pseudo-Boolean SAT solver,” J. Satisfiab., Boolean Model. Comput., vol. 2, nos. 1–4 ,pp. 165–189, 2006.
[۳۱]N. Een and N. Sorensson, “An extensible SAT-solver,” in Proc. Int. Conf .Theory Appl. Satisfiab. Test., 2003, pp. 502–508 [۳۲] .T. Gal. (2008). SharpSSH—A Secure Shell (SSH) Library for .NET] Online]. Available: http://www.tamirgal.com/blog/page/SharpSSH.aspx
[۳۳]H. Yang, L. Ritchie, A. Richa, and M. Reisslein, “MANET routing with provably low complexity through constant density clustering and route request broadcast,” Wireless Personal Commun., vol. 43, no. 2 ,pp. 605–621, Oct. 2007.

www.nn4e.com